



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

**Практикум**  
«Изучение явления магнитного  
гистерезиса»  
по дисциплине

**«Физика»**

Авторы  
Кривошеев Н. В.,  
Ларина Т. Н.

Ростов-на-Дону, 2020

## Аннотация

Указания содержат краткую теорию по теме «Явление магнитного гистерезиса», описание рабочей установки и методику эксперимента. Содержат контрольные вопросы и тесты.

Предназначено для обучающихся, изучающих дисциплину «Физика» при выполнении лабораторной работы по программе курса общей физики.

## Авторы

к.ф.-м.н., профессор Кривошеев Н.В.,  
к.ф.-м.н., доцент Ларина Т.Н.



## Оглавление

<b>Лабораторная работа №52 «ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА» .....</b>	<b>4</b>
Краткая теория .....	4
Описание экспериментальной установки и методика измерения .....	5
ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	9
<b>Контрольные вопросы и тесты .....</b>	<b>10</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>13</b>
<b>УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>13</b>

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №52

### «ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА»

**Цель работы:** снятие кривой намагничивания ферромагнитного материала.

**Приборы и принадлежности:** скамья с двумя подвижными катушками и компасом; амперметр; реостат; двойной ключ; сердечник из ферромагнитного материала; источник постоянного тока; соединительные провода; катушка для размагничивания сердечника; железные опилки.

#### Краткая теория

Явление магнитного гистерезиса состоит в том, что для ферромагнетиков существует нелинейная и неоднозначная зависимость между индукцией  $\vec{B}$  и напряженностью  $\vec{H}$  или намагниченностью  $\vec{I}$  и напряженностью  $\vec{H}$  магнитного поля, определяемая предшествующей историей ферромагнетика. Графически это явление представляется петлей гистерезиса, (рисунок 1). Если первоначально не намагниченный ферромагнетик намагничивать, увеличивая напряженность от нуля до значения, при котором наступает насыщение (точка 1 на кривой 0–1), а затем уменьшать от  $\vec{H}_1^+$  до  $\vec{H}_1^-$ , то кривая намагничивания  $\vec{B} = \vec{B}(\vec{H})$ , пойдет не по первоначальному пути 1 - 0, а выше по пути 1–2–3–4. Если теперь изменять  $\vec{H}$  в обратном направлении (от  $\vec{H}_1^-$  до  $\vec{H}_1^+$ ), то кривая намагничивания пойдет ниже – по пути 4–5–6–1. Получившуюся замкнутую кривую называют петлей гистерезиса. В том случае, когда в точках 1 и 4 достигается насыщение, получается максимальная петля гистерезиса. Когда же в крайних точках  $\vec{H}_1$  (1 и 4) насыщения нет, получаются аналогичные петли гистерезиса, но меньшего размера, как бы вписанные в максимальную петлю гистерезиса. Из рисунка 1 видно, что при  $\vec{H}=0$  намагничивание не исчезает (точка 2) и характеризуется величиной  $\vec{B}_0$ , называемой остаточной индукцией. Ей соответствует остаточная намагниченность  $\vec{I}_0$ , с наличием которой связано существование постоянных магнитов.

Величина  $\vec{B}$  обращается в ноль (точка 3) лишь под действием поля  $\vec{H}_0$ , имеющего направление, противоположное полю, вызвавшему намагничивание. Величина  $\vec{H}_0$  называется коэрцитивной силой. Значения  $\vec{B}_0$  и  $\vec{H}_0$  для разных ферромагнетиков меняются в широких пределах. Для трансформаторного железа петля гистерезиса узкая ( $\vec{H}_0$ -мало), для ферромагнетиков, используемых для изготовления постоянных магнитов, – широкая ( $\vec{H}_0$ -велико). Опыт показывает, что при перемагничивании ферромагнетик нагревается, при этом в единице объема ферромагнетика выделяется теплота, численно равная площади петли гистерезиса. При повышении температуры ферромагнетика способность его намагничиваться уменьшается. При некоторой температуре, называемой температурой Кюри, ферромагнитные свойства исчезают. При температурах, больших чем температура Кюри, ферромагнетик превращается в парамагнетик.

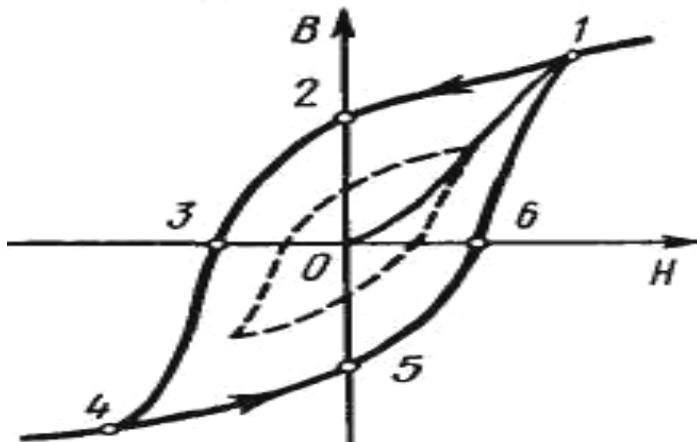


Рис. 1. Кривая намагничивания ферромагнетика или кривая гистерезиса

### Описание экспериментальной установки и методика измерения

Установка для снятия петли гистерезиса представляет собой деревянную скамью с укрепленным посередине компасом (рисунок 2). Скамья устанавливается так, чтобы магнитная стрелка компаса была

расположена перпендикулярно оси скамьи, т.е. вдоль магнитного меридиана. Вдоль скамьи могут перемещаться две катушки  $K_1$  и  $K_2$ . Катушки располагают на скамье так, чтобы при прохождении через них постоянного тока их магнитные поля компенсировали бы друг друга и не оказывали влияния на ориентацию стрелки компаса.

Если в одну из катушек вставить стержень из ферромагнетика, то при включении тока он намагничивается в магнитном поле катушки и создает добавочное магнитное поле, которое вызывает отклонение магнитной стрелки от направления магнитного меридиана на некоторый угол  $\alpha$ . Величина  $\operatorname{tg} \alpha$  пропорциональна индукции  $B$  возникшего в сердечнике магнитного поля, в то время как сила тока в катушке пропорциональна напряженности магнитного поля  $H$  на ее оси. Поэтому зависимость  $\vec{B} = \vec{B}(H)$  будет подобна зависимости  $\operatorname{tg} \alpha = f(I)$ .

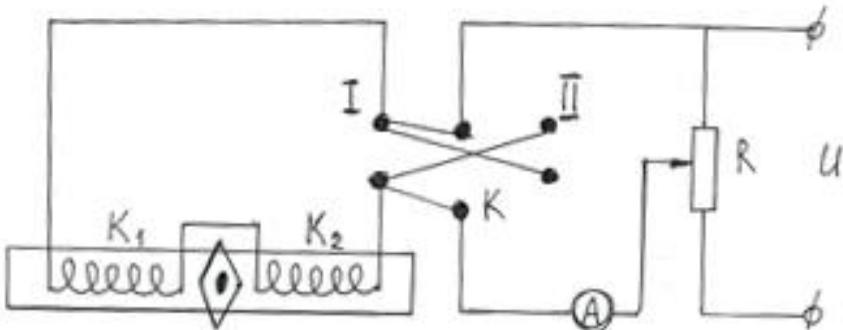


Рис. 2. Схема лабораторной установки

При проведении измерений петли гистерезиса необходимо заносить результаты [измерений в таблицу 1](#) в соответствии со следующей методикой:

1. с помощью реостата увеличивать силу тока в катушках, проводя измерения силы тока и угла  $\alpha$ , соответствующие кривой 0-1 на рисунке 1;

2. уменьшать силу тока до 0, проводя измерения для участка кривой 1-2;
3. изменить направление тока переключением ключа К (рисунок 2), после чего следует увеличивать ток обратного направления, что соответствует участку кривой 2-4 (см. рисунок 1);
4. уменьшить силу тока до 0 для снятия кривой 4-5 (рисунок 1);
5. далее изменить направление тока с помощью ключа К, поместив его в первоначальное положение, после чего силу тока следует опять увеличивать для получения данных, соответствующих участку кривой 5-1 (см. рисунок 1).

Таблица 1.

Увеличение тока 0 : 1; I ↑			Уменьшение тока 1 : 2; I ↓			Увеличение тока противоположного направления после переключения ключа К 2 : 4; I ↑			Уменьшение тока 4 : 5; I ↓			Увеличение тока первоначального направления после переключения ключа К 5:1; I ↑		
I, A	α, град	tg α	I, A	α, град	tg α	I, A	α, град	tg α	I, A	α, град	tg α	I, A	α, град	tg α
0.1			0.9			0.1			0.9			0.1		
0.2			0.8			0.2			0.8			0.2		
0.3			0.7			0.3			0.7			0.3		
0.4			0.6			0.4			0.6			0.4		
0.5			0.5			0.5			0.5			0.5		
0.6			0.4			0.6			0.4			0.6		
0.7			0.3			0.7			0.3			0.7		
0.8			0.2			0.8			0.2			0.8		
0.9			0.1			0.9			0.1			0.9		
1.0			0			1.0			0			1.0		

## ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 2.
  2. Установите ось скамьи с катушками перпендикулярно направлению магнитного меридиана, т.е. перпендикулярно магнитной стрелке компаса.
  3. Катушки  $K_1$ , и  $K_2$  расположите на одинаковых расстояниях от компаса по обе стороны от него.
  4. Пропустите через катушки  $K_1$  и  $K_2$  ток (приблизительно 1 А) и, перемещая катушки, добейтесь, чтобы магнитная стрелка осталась неподвижной при включении и выключении тока.
  5. Вставьте сердечник в одну из катушек и замкните ключ  $K$ . Стрелка компаса при этом отклонится. Если отклонение стрелки компаса от первоначального положения меньше (или больше)  $60^\circ - 70^\circ$ , то катушки надо слегка сдвинуть (раздвинуть) и, вытащив сердечник из катушки, повторить пункты 3 – 4.
  6. Реостатом  $R$  уменьшите ток до нуля.
  7. Размагнитьте сердечник с помощью размагничивающей катушки, через которую пропускают переменный ток. С помощью железных опилок проверьте отсутствие у сердечника магнитных свойств.
  8. Вставьте сердечник в одну из катушек и установите ключ  $K$  в положение  $I$  на рисунке 2.
  9. Увеличивая через небольшие интервалы ток  $I$  до 1 А, (8 – 10 измерений), записывайте показания амперметра и соответствующие им углы отклонения стрелки компаса в таблицу. Прделайте аналогичные действия, уменьшая ток до нуля.
  10. Измените направление тока, поставив ключ  $K$  в положение  $II$ , и повторите опыт, как указано в предыдущем пункте.
  11. Еще раз измените направление тока, поставив ключ в положение  $I$ , и снова проделайте опыт, увеличивая ток до 1 А. Отключите схему от источника напряжения.
  12. Найдите значения тангенсов углов отклонения стрелки компаса и занесите их в [таблицу 1](#).
  13. Постройте график зависимости  $tg \alpha = f(I)$ . Укажите на графике силу тока  $I$ , пропорциональную коэрцитивной силе, и величину  $tg \alpha$ , пропорциональную остаточной индукции. Петля гистерезиса строится на масштабнo-координатной бумаге.
- Примечание.** При изменении величины или направления тока,

например, при неплановом переключении, в сердечнике сохраняется остаточная намагниченность, что приводит к неправильным результатам. Поэтому построение петли гистерезиса по пунктам 1-11 надо начать с начала.

Для предотвращения путаницы при построении графика углы отклонения стрелки компаса по одну сторону от нуля пометьте знаком «+», по другую сторону «-».

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТЫ

1. Что происходит с веществом при его помещении в магнитное поле ?
2. В чем сущность явления ферромагнетизма и какова его природа ?
3. Что называется явлением магнитного гистерезиса ?
4. Какие ферромагнетики относятся к жестким и к мягким ? Где они применяются ?
5. Как ферромагнетик перевести в парамагнитное состояние ?

Укажите правильные ответы на следующие вопросы.

1. На рисунке 3 представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности  $J$  вещества (по модулю) от напряженности магнитного поля  $H$ .

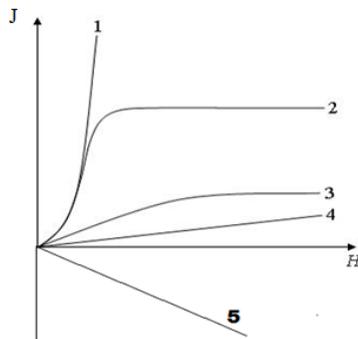


Рис. 3

Укажите зависимость, соответствующую диамагнетикам.

Варианты ответов:

а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5.

2. На рисунке 3 представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности  $J$  вещества (по модулю) от напряженности магнитного поля  $H$ .

Укажите зависимость, соответствующую парамагнетику.

Варианты ответов:

- а) 1;            б) 2;            в) 3;            г) 4;            д) 5.

3. Образцы из пара- и диамагнетика, помещенные в неоднородное магнитное поле между полюсами электромагнита, ведут себя по-разному - они либо втягиваются в область сильного поля, либо - выталкиваются из нее.

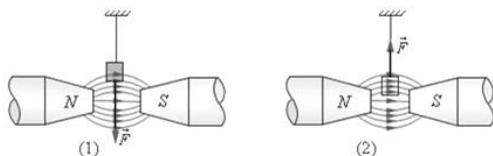


Рис. 4.

На рисунке 4 изображены:

Варианты ответов:

- а) - парамагнетик, 2- диамагнетик; б) 1 - диамагнетик, 2 - парамагнетик;  
в) нет ответа.

4. На рисунке 5 показана зависимость магнитной проницаемости  $\mu$  от напряженности внешнего магнитного поля  $H$  для:  
1)любого магнетика; 2) парамагнетика;  
3)ферромагнетика;  
4)диамагнетика.

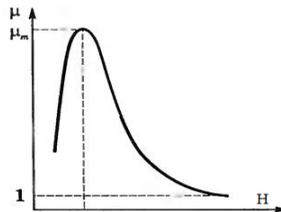


Рис. 5.

Варианты ответов: а) 1;    б) 2;    в) 3;    г) 4.

5. На рисунке 3 представлены графики, отражающие характер зависимости величины намагниченности  $J$  вещества (по модулю) от напряженности магнитного поля  $H$ .

Укажите зависимость, соответствующую ферромагнетикам .

- Варианты ответов: а) 1;    б) 2;    в) 3;    г) 4;    5) 5.

Физика

6. На рисунке 6 показана зависимость проекции вектора индукции магнитного поля  $B$  в ферромагнетике от напряженности  $H$  внешнего магнитного поля. Участок  $OC$  соответствует:

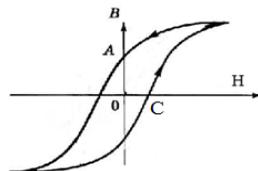


Рис. 6.

Варианты ответов:

- 1) остаточной намагниченности ферромагнетика;
- 2) магнитной индукции насыщения ферромагнетика;
- 3) коэрцитивной силе ферромагнетика;
- 4) остаточной магнитной индукции ферромагнетика.

Варианты ответов: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

7. На рисунке 6 показана зависимость проекции вектора индукции магнитного поля  $B$  в ферромагнетике от напряженности  $H$  внешнего магнитного поля.

Участок  $OA$  соответствует:

- 1) остаточной намагниченности ферромагнетика;
- 2) магнитной индукции насыщения ферромагнетика;
- 3) коэрцитивной силе ферромагнетика;
- 4) остаточной магнитной индукции ферромагнетика.

Варианты ответов: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4.

8. Температура Кюри – это температура,....

- 1) ниже которой ферромагнетик находится в парамагнитном состоянии;
- 2) выше которой ферромагнетик находится в парамагнитном состоянии;
- 3) при которой происходит поглощение или выделение теплоты;
- 4) соответствующая скачкообразному изменению теплоемкости ферромагнетика.

Варианты ответов: а) 1, 2; б) 1, 4; в) 2, 4; г) 1, 3.

9. Количество тепла, выделяющееся при перемагничивании....

- 1) пропорционально площади петли гистерезиса;
- 2) обратно пропорционально площади петли гистерезиса;
- 3) равно энергии внешнего магнитного поля, затраченной на перемагничивание ферромагнетика;
- 4) равно работе силы Ампера.

Варианты ответов: а) 1 и 3; б) 2 и 3; в) 1 и 4; г) 2 и 3.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [Калашников С.Г. Электричество](#). – 6 изд., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624с. ISBN 5-9221-0312-1
2. [Трофимова Т.И. Курс физики](#). – 7 изд., М.: Высшая школа, 2001. – 405с.
3. [Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы](#). – 9 изд., М.: БИНОМ. Лаборатория знаний., 2014. – 319с. ISBN 978-5-9963-2348-7

## УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

**ВНИМАНИЕ!** Лица, не прошедшие инструктаж по технике безопасности НЕ ДОПУСКАЮТСЯ к проведению лабораторных работ. Перед началом лабораторной работы необходимо ознакомиться с инструкцией по ее проведению в методических указаниях.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ:** 1. Включать или выключать электрические рубильники силовых щитов; 2. Подавать электрическое напряжение без предварительной проверки схемы лаборантом или преподавателем; 3. Производить любые изменения схем в процессе работы; 4. Оставлять без присмотра включенную установку.

При работе с электронагревательными приборами соблюдать меры противопожарной безопасности, не касаться нагревательных элементов руками и горючими предметами.

При обнаружении неисправного оборудования, электрических розеток и вилок немедленно сообщать об этом преподавателю.

Запрещается работать на неисправном оборудовании.

По окончании работы отключить установку от электропитания.

### Первая помощь при ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Электротравмы человек может получить в момент неосторожного контакта с источниками и проводниками электричества. Реакция организма человека зависит от мощности тока, прошедшего через тело. Симптомами поражения электрическим током является расстройство дыхания, падение пульса, судорожные сокращения мышц, потеря сознания, остановка сердца, ожоги на участках непосредственного контакта с электросетью.

Первая доврачебная помощь должна быть начата с немедленного прекращения воздействия электрического тока на пострадавшего, для чего необходимо выключить рубильник, выключатель, оторвать токонесущие провода. Если это сделать невозможно, то нужно незамедлительно обезопасить себя и пострадавшего надёжной изоляцией (применить резиновые перчатки, встать на резиновый коврик и т.п.). Ни в коем случае нельзя брать голыми руками за оголенный провод и за человека, находящегося под током.

Затем пострадавшему нужно создать полный покой, уложив в сухое теплое место, освободить от стесняющей одежды. При отсутствии (или резком нарушении) дыхания и сердечной деятельности начать проводить искусственное дыхание «изо рта в рот», «из рта в нос» и наружный массаж сердца.